

城市燃气管道泄漏检测技术及方法评价探析

刘天晔（广东能源集团台山合和燃气有限公司，广东 台山 529200）

摘要：我国城市燃气管道系统的迅速扩展，使燃气泄漏问题逐渐成为影响城市安全运行的隐患，当前，燃气管道泄漏检测技术种类繁多，存在灵敏度、实时性与成本等方面挑战，文章深入分析了主要检测技术手段，并结合具体应用场景对其适用性进行评估，为燃气管道泄漏监测提供技术支持。

关键词：燃气管道；泄漏检测；技术评估

中图分类号：TE973.6

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）021-0130-03

Exploration and Evaluation of Leakage Detection Technology and Methods for Urban Gas Pipelines

Liu Tianye (Guangdong Energy Group Taishan Hehe Gas Co., Ltd., Taishan Guangdong 529200, China)

Abstract: The rapid expansion of urban gas pipeline systems in China has gradually made gas leakage a hidden danger affecting the safe operation of cities. Currently, there are various types of gas pipeline leakage detection technologies, which face challenges in sensitivity, real-time performance, and cost. This article deeply analyzes the main detection techniques and evaluates their applicability in specific application scenarios, providing technical support for gas pipeline leakage monitoring.

Keywords: gas pipeline; leak detection; technical evaluation

随着西气东输、川气东送等国家级骨干输气管网的建设，我国城市燃气得到了快速发展，对现有燃气管道的完整性管理要求也不断提高。城市燃气输送的主要方式为管道输送方式，燃气管道由于生产、安装、使用和管理等方面原因，可能存在燃气管道泄漏的现象，不但影响燃气的正常输送，而且污染环境，甚至引起火灾和爆炸等恶劣后果，对国家和人民的生命财产安全造成危害，造成伤亡和财产损失^[1]。

当前燃气管道泄漏检测技术呈现出多样化特征，包含人工巡检、便携式仪器、固定监测系统、激光遥感、声波检测、光纤传感和无人机巡检等，不同技术在场景适用性、灵敏度、准确性、成本控制和实时监测方面存在性能分野，文章将对城市燃气管道泄漏检测的各技术手段进行论述，结合实例评价各种技术的适用性与检测性能，为城市燃气安全管理提供理论依据与实践参考。

1 城市燃气管道泄漏的危害及检测技术的需求分析

1.1 泄漏事故类型及其对城市造成的若干危害

城市燃气管网运行时，管道系统多采用埋地敷设方式并穿越高密度建成区，长期在承压下运行，其结构受环境因素、材料老化、应力变化以及第三方施工破坏等多重风险因素叠加，多类型泄漏事故极易接踵而生。泄漏事故依据泄漏方式、管材类型及现场演化过程，可包含压力泄漏、穿孔泄漏、环焊缝破损泄漏及接头松动渗漏等多种形式，其中部分事故具有突发

性极强、气体释放速率高且难以及时发现的典型特征。管道泄漏若形成自由扩散，不利气象条件或密闭空间积聚时，爆炸性气体浓度将迅速达到临界状态，火灾或爆炸风险增加，进而诱发重大城市安全事故，建筑结构破坏、交通瘫痪、公共设施瘫痪以及人员伤亡等次生灾害，往往呈现非线性放大特征，对城市运行系统的韧性构成严重挑战，此类现象叠加时，破坏性效应愈加不均衡，安全控制的管理要求也愈加提升。天然气本来就是无色无味的，所以在泄漏的时候往往难以察觉，人们很容易会在天然气泄漏的环境当中发生生命危险，所以做好天然气管道泄漏的检测工作非常必要^[2]。

1.2 泄漏检测的紧迫性与技术需求

城市燃气系统运行安全保障的依赖性日益增加，精准监测与快速响应机制愈加重要，泄漏检测技术已从传统“事后响应”向“实时预警”和“主动感知”方向加速过渡。不仅应对突发事故的及时性要求提升了技术紧迫性，推动长期治理能力以应对系统性隐患也进一步倒逼了其演化，智能感知技术与多源数据融合不断发展的现实环境中，燃气泄漏检测技术体系的目标在高灵敏度、高覆盖率与高实时性三重方向上亟需协同发展。其目标在于处理复杂城市环境中多变且快速扩散的泄漏工况，同时城市燃气管道布局也由集中式演化为分布式，物理覆盖范围扩大、地下管网日益密集且交错，信息盲区的增多，进一步对泄漏监测的空间识别精度与时间响应延迟都施以了双重挑战。

管道系统的环境存在动态变化特征，温湿度、地面荷载及腐蚀介质等多方面都存在不一的动态性，这和传感设备长期稳定运行的技术瓶颈形成显著矛盾，检测技术需应对更高要求的可靠性、抗干扰能力及对低误报的容忍度。

未来泄漏检测技术的发展，敏感元件精度、数据传输稳定性和故障识别智能化等方面的技术突破与从系统架构层面构建基于物联网、多源融合感知和大数据智能分析的一体化检测平台同样需要实现，微量泄漏的早期识别、趋势预判与闭环控制借助此类突破提升城市燃气系统的整体运行安全裕度。

2 城市燃气管道泄漏检测技术分析

2.1 传统检测技术

2.1.1 压力流量监测法

系统密封性的间接指征往往与压力和流量这两个关键运行参数的稳定性相关，管道系统一旦出现微小泄漏，压力分布异常和流量平衡的波动便会较明显地发生。压力流量监测法因此成为燃气泄漏早期判断中较为常见的手段，具体地，通过在管道关键节点装置压力传感装置，实时记录内部压力变化数据，当某一区域出现无法通过正常调压或用气波动解释的突然或持续性压力下降时，该区域存在泄漏可能的初步判断往往可以进行。

2.1.2 化学示踪法

化学示踪法作为传统泄漏检测手段中的一种形式，基于气体扩散行为的可控性与示踪性，它在静态条件下对泄漏区域的定位具有一定优势，典型应用方式是向燃气管道中注入浓度可控的示踪气体，例如氦气或硫六氟化物，在地表或可疑泄漏区域周边布设若干检测点，通过灵敏度较高的示踪气体检测设备进行周期性采样和浓度分析，检测点一旦捕捉到示踪成分，即可判定该区域管道存在泄漏路径。

2.1.3 人工巡检辅助工具检测法

在传统人工巡检制度未完全被智能监测系统替代的现实条件下，配合使用便携式检测设备已成为一线检修人员日常作业的重要组成部分，尤其在复杂地形、地下密闭空间或老旧管网区域，人工巡检仍具有不可替代的实地判断优势。检测人员通过手持可燃气体检测仪沿管道路线或建筑边缘进行逐点排查，设备内置传感器可持续感知空气中的可燃气体浓度变化，当浓度值超过设定安全阈值，系统即发出声光报警，提示检修人员进行进一步确认。

2.2 现代物理与信息技术检测方法

2.2.1 光学相干断层扫描技术（OCT）

光学相干断层扫描技术借助光学干涉原理获取微

观结构图像，近年来在精密检测领域逐步拓展，作为高分辨率成像手段引入城市燃气管道泄漏检测后，该技术提升了对管道内部微小缺陷的识别能力，通过向管道内壁发射低功率近红外光束，光线经管道内表面及结构缺陷反射干涉形成图谱，信号重构后生成高精度横断图像，从而呈现腐蚀、裂纹、孔隙及泄漏点等具体特征，OCT技术具备纳米级分辨率和非接触测量特性，在不便开挖的高风险区域中，可实现内部成像检查，避免传统开挖或破坏性检测方法可能对管道结构产生次生损伤或扰动的风险。

2.2.2 基于物联网的传感器网络检测

城市燃气系统逐步趋向自动化与网络化运行，物联网技术支撑的分布式传感器网络检测体系成为现代泄漏监测中构建技术体系的核心部分，管道沿线部署了各类传感节点，压力、温湿度、可燃气体及流速监测装置等多类型传感器分段有序覆盖，动态实现全方位数据采集与感知任务。

各类传感器数据通过无线网络同步至中央数据平台后，经内置融合算法对信号进行特征提取、交叉验证及异常比对，工况复杂下泄漏信号检测精度与稳定性有效改观，该检测技术形式提升了实时响应的运行性^[3]，传统人工巡检覆盖空间和频次方面的局限性同时降低，为全天候全周期运行燃气安全监测体系提供了技术型关键路径。

2.2.3 大数据与机器学习辅助检测

燃气管网运行中数据形态复杂多变，泄漏事件特征的非线性与不确定性趋势增强，引入大数据处理与机器学习算法进行泄漏检测，已成为提高检测系统智能化水平的重要方向，该方法汇聚历史运行数据，压力变化、流量监测、环境参数以及历史泄漏事件等信息，构建具备学习能力的分析模型。训练阶段优化对正常工况与异常状态之间边界特征的识别，实时数据通过传感网络输入后，系统依据数据特征自动判别是否泄漏、可能发生区域以及泄漏等级等，输出多维度结果，这显著缩短判断时间、提高准确性，尤其适用于远程区域或城中老旧区域这些无法实时实地巡检的管网密集交错区域。

2.3 智能化与远程监控系统

在城市燃气管道泄漏智能化监测体系的构建中，图像识别与行为分析技术的深度融合，已成为提升远程监控效能、增强风险感知能力的重要技术路径，其中，通过布设具备智能识别功能的摄像设备，对管道沿线重点区域实施高频率、全时段的视频监控，并借助图像识别算法对监控画面中的动态要素进行逐帧解析，不仅能够精准识别诸如非计划施工机械接近、地

面塌陷引发管道变形、非法占压等可能导致结构性损伤的异常场景，而且在事件尚未演化为物理破坏之前，即可触发报警并引导人工干预，从而实现事故前移的主动响应；与此同时，行为分析技术通过对监控视频中人员、车辆等活动轨迹的连续建模与语义分类，结合时空特征判定其行为是否具有潜在风险性，例如反复在管道周边逗留、长时间停留或不明物品堆放等高风险行为模式，一经识别便可生成联动预警信号，协助管理中心对重点区域实施先期干预与动态控制，以最大限度降低因人为疏忽或违法操作引发的燃气泄漏概率。

3 城市燃气管道泄漏检测方法的综合评价

3.1 燃气管道泄漏检测技术的目的探究

城市燃气管道泄漏检测技术的核心目的，在于通过高效、准确与实时的手段识别系统中的微小缺陷与异常状态，从而在不依赖大范围人为干预的前提下，保障城市基础能源网络的运行安全与供气稳定性，其技术设计逻辑不仅应满足对泄漏量、位置和趋势的综合感知，还须具备数据可追溯性与事件响应能力，以实现事故预防与系统维护之间的动态平衡。

3.2 不同检测技术评价分析

3.2.1 传统检测技术评价

传统燃气泄漏检测技术体系中，压力流量监测法因设备结构简单、运行成本较低而被广泛应用，其判断依据为压力变化曲线和流量平衡数据，在处理中等规模泄漏时具有灵敏度，但微小泄漏的识别与响应速度受限于数据刷新频率和人工判读精度，适用于管网布局清晰且干扰较小的区域。化学示踪法借助示踪气体扩散路径定位泄漏点，具备较高的空间识别精度，适合密闭或静态环境的定点检测，其反应时间依赖采样周期与检测点布设，同时耗材与设备成本较高也令其受限，人工巡检结合便携式检测设备进行现场核查虽具有进入复杂环境的灵活性，但受限于人力安排与巡检频次，检测效率降低，长时间覆盖能力与实时性偏弱，难以应对城市燃气系统日益增长的连续监测需求^[4]。

3.2.2 新兴检测技术评价

新兴技术体系展现出突破传统方法局限的显著优势。其中，光学相干断层扫描技术（OCT）因高精度成像能力呈现管道内壁结构，微细裂纹与初期腐蚀可清晰识别，这为关键部位或高风险地段的结构评估适合，设备昂贵且检测速度有限，但后期维护成本可显著降低；基于物联网的传感器网络部署分布式多种感知节点，实现多源数据实时采集与远程传输，数据融合算法提升了泄漏判断准确性，虽前期建设成本较高，

大范围、复杂地形条件下适应性与长期运行价值优良；大数据与机器学习方法以历史运行数据为基础构建预测模型，通过识别特征变化实时判断泄漏状态，可实现对异常趋势的提前感知，其优势在于处理速度快与模型自学习能力强，但对数据质量与建模能力要求较高。

智能视频监控系统以图像识别与行为分析技术识别施工干扰、非法操作等外部诱因，适用于人流密集、干预风险大的区域，具备实时预警功能，但算法稳定性与部署成本需统筹考量；云端智能平台则通过整合多源数据，实现跨区域远程监控与统一调度，适用于大规模管网的集中化管理，尽管系统集成与数据安全控制复杂，但其平台化优势有望成为未来城市燃气监控体系的基础核心。

3.3 不同应用场景下的技术适配性分析

在不同运行环境与管理模式下，各类检测方法因其敏感度、响应机制、设备依赖程度和数据处理方式的差异，呈现出显著的应用适配性差异，例如在管网结构复杂或人流密集区域中，物联网传感与图像识别手段具备更强的实时性与预警能力，而在静态密闭环境下，化学示踪与光学扫描方法则因其定位精度高而具有效能优势，因此技术选择需综合评估管道布局、地理条件与维护策略，以实现风险识别与资源投入的最优匹配。

4 结语

管道输送作为燃气输送的一种主要方式，具有更有效、更安全、对环境的影响更小的特点。燃气管道的检测技术关系到燃气的正常输送，直接关系到居民的正常生活，但是，由于管道埋于地下，对燃气管道而言，因腐蚀破坏存在非常大的危险性，其安全问题越来越受到重视。管道受损和泄漏，往往是难以察觉的。为了确保燃气输气管道的安全性，必须在检测过程中要对管道的腐蚀和泄露情况进行认真作业，紧跟技术改革的方向，确保燃气的正常输送。

参考文献：

- [1] 廖可兵,周荣义,刘爱群.城市燃气管道泄漏检测方法探讨与评价[J].工业安全与环保,2007,33(2):27-29.
- [2] 何家玖,何柳.城市燃气泄漏检测方法及其应用研究[J].低碳世界,2017,7(34):330-331.
- [3] 姜亮.探讨城市燃气泄漏检测新方法及其应用[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(11):163-166.
- [4] 黄灿光.市政燃气管道泄露检测技术的现状及发展[J].科技传播,2010,2(19):71-72.